가변 문턱 값과 대역별 제로트리 스캔에 의한 웨이브릿 정지 영상 압축 기법의 개선

최정구[†] · 김도년[††] · 조동섭[†††]

요 약

웨이브릿 기반 영상 압축은 기존의 DCT 기법을 이용하는 JPEG에 비하여 블록킹 현상이 일어나지 않고 인간의 시각 시스템과 유사하다는 특징을 가지고 있어 많은 관심을 끌고 있지만, 압축률이 높아질수록 에지 및 경계 부분이 흐려지는 단점이 있다. 본 논문에서는 이러한 역효과를 제거하기 위하여 전처리 과정으로 문턱값의 하향 조정과 스캔 방향 개선을 제안한다. 제안된 기법은 에지 및 경계 부분의 흐려짐을 방지하면서 전반적으로 화질을 개선하였다. 제로트리 형성 과정에서 유효 계수인지를 판정하는 문턱값을 낮춤으로써 유효 계수의 숫자를 증가시키고, 양자화 과정에서 각 대역의 방향적 특성을 이용한 개선된 스캔 방향법을 제시하였다. 문턱값을 낮춤으로써 발생하는 최대 크기값의 정보 손실은 복원 과정에서 보상하는 방법으로 하였다. 실험 결과는 기존의 웨이브렛 변환과 제로트리를 이용한 압축 영상 및 영상 압축 표준인 JPEG과의 비교를 통해 분석되었으며 제안된 기법은 기존의 방법에 비해 시각적으로나 객관적 영상 화질 측정에서 향상된 성능을 보여주었다.

Enhanced Image Compression based on Wavelet using Variable Threshold and Zerotree Structure Scanning

Jeongku Choi[†], Do-nyun Kim[††] and Dong-sub Cho[†††]

ABSTRACT

Image compression based on Wavelet gives much better quality than JPEG based on DCT, but suffers from ringing or blurring effects around edges as the compression is increased. In this paper, we proposed enhanced image compression by pre-processing wavelet coefficients. This pre-processing is performed by making a low threshold and enhanced by zerotree scan method when subband's zerotrees are established. It might increase significants coefficient by means of modifying the threshold and reflect on the orientation of subbands. Some experimental results show our method is more efficient than the conventional methods, JPEG. And then the developed coding scheme improves the quality of images and visually shows more pleasing results for most practical images.

1. 서 론

멀티미디어는 하루가 다르게 신기술이 개발될 정도로 21C 유망 산업으로 각광받고 있다. 멀티미디어 정보 중 영상 정보가 가장 중요한 위치를 차지하고 있으며, 이를 표현하기에 드는 비용과 시간을 줄이고자 다양한 압축 및 복원 방식이 등장하게 되었다.

이를 해결하고자 JPEG이 정지영상의 압축 표준으로 등장하였으나, JPEG에서 이용되는 DCT(Discrete Cosine Transformation) 기법은 고주파의 컬러 정보를 잃어버리거나 압축 과정에서 형성된 블록들이 컬러의 경계선을 따라 드러나 보임으로써 그래픽 이미지를 훼손시키는 단점이 있다. 따라서, 이러한 단점

이 논문은 1998년 한국학술진흥재단의 학술 연구비에 의하여 지원되었음

† 이화여자대학교 컴퓨터학과 석사
†† 이화여자대학교 컴퓨터학과 박사
††† 종신회원, 이화여자대학교 컴퓨터학과 교수

을 극복하고자 많은 연구가 진행되었고, 현재 JPEG2000이라는 표준을 만들게 되었는데, JPEG2000에서는 DCT 기법과 함께 웨이브릿(wavelet)이라는 압축기법을 사용하고 있다.

웨이브릿을 이용한 영상 압축 기법은 웨이브릿 변환, 양자화, 엔트로피 부호화의 과정을 거치면서 기존의 DCT 방법보다 뛰어난 압축률을 가지면서도 이미지를 보다 잘 보존하는 방법으로 관심을 끌고 있으며, 인터넷 및 이동체 통신에서의 멀티미디어 표준인 MPEG-4에서도 적용되고 있다. 그러나 웨이브릿을 이용한 압축 기법은 압축률이 높을수록 손실 압축인 양자화 과정에서 고주파 부분인 경계 부분의 정보를 잃어, 영상이 흐려지는 공명 현상을 낳는 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 웨이브릿을 이용한 영상 압축 과정에서 이러한 공명 현상을 줄이고 원 영상과의 차이를 줄이는 방법을 제안한다. 압축을 수행하는 과정에서 제로트리의 심벌 형성 전에 전처리 과정으로 웨이브릿 변환 후의 계수의 처리 순서를 개선하고, 제로트리 형성시의 임계값(threshold)을 조정함으로써 에지 및 경계 성분을 보완하는 기법이다. 임계값은 각 부대역에서의 최대 크기값이며, 제로트리의 심벌 형성 과정에 중요한 역할을 한다.

제안한 알고리즘의 성능 평가의 예로 기존의 제로트리를 이용한 영상과 함께 현재 정지 영상 압축 표준인 JPEG을 비교함으로써 원 영상과의 차이가 기존보다 줄어들었음을 확인하였다. 또한, 정량적인 비교의 척도로 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)를 이용하여 향상된 결과를 보이고 있음을 확인하였다.

2. 웨이브릿을 이용한 영상 압축의 연구 동향

2.1 웨이브릿의 개요와 특징

웨이브릿 변환은 푸리에 변환(Fourier Transform)의 일종으로 1980년대 후반 신호 해석의 방법으로 소개되었다[1].

푸리에 변환은 주기적인 신호의 표현에는 적합하나, 주파수의 지역적 특성(locality)을 반영하지 못하므로 급격한 불연속 점을 포함한 신호의 표현에는 부적합하지만, 웨이브릿 변환은 푸리에 변환의 일종이나 지역적 특성을 반영하므로 불연속 점의 표현에 뛰어나다는 장점을 가지고 있다. 웨이브릿 변환은 $\psi(t)$ 로 정의되는 기저 웨이브릿(mother wavelet)을 확대·축소하고 이동하면서 얻어지는 함수들의 집합이라 할 수 있다.

그림 1은 웨이브릿 변환에서 주파수와 시간 관계를 나타낸 것이다[1]. 높은 주파수 영역대에서는 짧은 웨이브릿을 사용하는 특징이 있다.

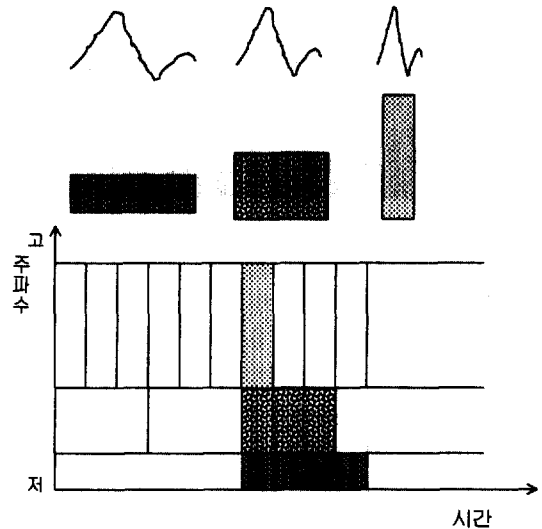



그림 1. 웨이브릿 변환에서 변수에 따른 주파수와 시간관계

2.2 웨이브릿을 이용한 영상 변환

그림 2는 영상의 웨이브릿 분해 및 합성 과정을 나타낸 것으로 h는 저역 필터, g는 고역 필터를 의미한다[2].

영상을 다단계로 웨이브릿 변환을 하게 되면 서로 다른 단계의 다중 해상도를 가진 부대역을 얻을 수 있다. 부대역은 저주파 성분(LL)과 고주파 성분(LH, HL, HH)으로 나뉘게 되며 LL 대역의 영상은 이전 영상의 $\frac{1}{4}$ 의 해상도를 가진 닮은 형태가 된다. 그림 3은 lena 영상을 2단계 웨이브릿 변환한 영상으로 LL

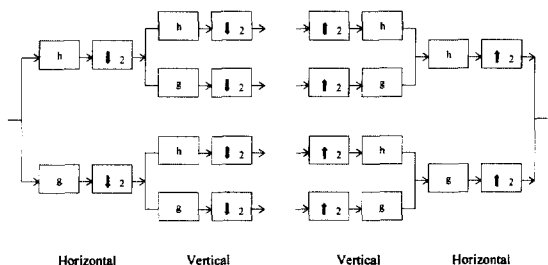



그림 2. 웨이브릿 변환의 분해와 합성

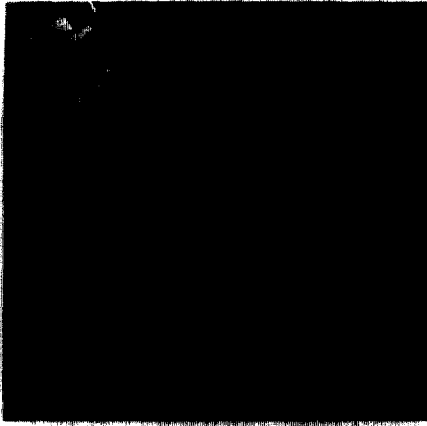



그림 3. 2단계 웨이브릿 분해한 lena 영상

대역에 저주파 성분이 모이고 각 대역에 원 영상과 닮은 영상이 나타나는 것을 알 수 있다.

웨이브릿은 이와 같이 인간의 시각 구조(HVS : Human Visual System)와 비슷하게 영상을 다중 해상도로 분해할 뿐 아니라 영상을 국부적으로 처리할 수 있는 특성을 지니고 있으므로 영상 처리 분야에서 활발히 연구가 진행되고 있다[3].

2.3 일반적인 영상 압축 과정

웨이브릿을 이용한 영상 압축 과정은 그림 4와 같이 영상의 웨이브릿 변환, 양자화(Quantization)를 통한 손실 압축, 엔트로피 부호화(Entropy Coding) 기법을 통한 무손실 압축의 단계를 가진다[4].

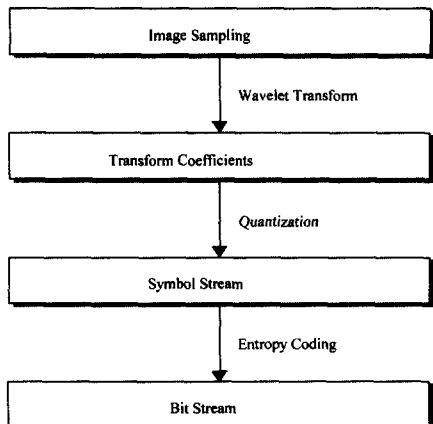
실제로 높은 비율의 영상 압축이 일어나는 것은 웨이브릿 변환 후 양자화 과정을 통한 손실 압축 단계이며 웨이브릿 변환은 양자화 과정을 통한 손실 압축의 성능을 높이기 위하여 영상을 부대역으로 나누는 것이라 할 수 있다. 웨이브릿을 이용한 영상 압축에서는 각 부대역 별로 최적의 비트를 할당하는 것이 가장 중요시되고 있다[5].

그림 4. 웨이브릿을 이용한 영상 압축 과정

손실 압축 기법으로는 스칼라 양자화(Scalar Quantization)와 벡터 양자화(Vector Quantization), 공간-주파수 양자화(Space versus Frequency Quantization)로 나뉜다[4].

스칼라 양자화는 이미 JPEG 등에서 사용되고 있는 방법으로 압축 과정에서 픽셀 단위로 일정한 값으로 나누어준 뒤, 복원 과정에서 양자화시 나누어주었던 값을 다시 곱해주는 역양자화 과정을 거치는 과정이며, 벡터 양자화는 픽셀 단위가 아닌 일련의 픽셀들을 벡터 단위로 양자화 하는 것이다. Barlaud, Mathieu, Daubechies 등이 제안한 방법에 따르면, 압축과 복원 과정에서 공통 최적화 코드 북을 두어 양자화를 수행하게 된다[6].

공간-주파수 양자화는 웨이브릿 변환이 공간과 주파수 영역에서 지역성을 가진다는 특성을 이용한 것이다. 스칼라 양자화 변형의 일종으로 Shapiro에 의하여 EZW(Embedded Zerotree Wavelet Algorithm) 방식으로 처음 제안되었다[7].

엔트로피 부호화은 통계적인 중복성을 이용하며 주로 사용되는 기법으로는 허프만 부호화, 런 랭스 부호화, 산술 부호화 등이 있다. 본 논문에서 사용된 적응 산술 부호화(adaptive arithmetic coding) 기법은 정보를 0과 1사이의 실수로 표현하는 것으로 적응적(adaptive) 방법이란 정보를 압축하면서 통계적인 정보를 수정해 나간다.

2.4 제로트리를 이용한 영상 압축의 기존 연구

2.4.1 EZW(Embedded Zerotree Wavelet Algorithm)

제로트리(zerotree)는 1993년 Shapiro가 제안한 데이터 구조이다[7]. 웨이브릿 계수 x를 주어진 임계값 T와 비교하여 $|x| > T$이면 유효한 계수(significant coefficient)로 간주한다. 제로트리는 웨이브릿 계수간의 관계에서 저주파 부분에서 임계값 T에 대하여 유효하지 않다면, 같은 방향의 위치에 있는 부대역의 고주파 부분의 계수 또한 T에 대하여 유효하지 않을 확률이 높다고 가정하는데, 많은 실험에서 이 가정이

성립하는 것으로 나타났다. 웨이브릿 변환 후 부대역 사이에 존재하는 계수의 자기유사성을 이용하며, 상위 단계를 parent, 하위 단계를 children 이라 정의하고 parent-children 간의 유사성을 이용한다.

EZW는 이산 웨이브릿 변환, 제로트리 부호화, 연속 근사 양자화, 적응 산술 부호화라는 특성에 기반하고 있다. 계수의 중요 순서로 비트 스트림이 설정되며, 주어진 압축률에 도달하면 부호화 과정이 그 시점에서 끝날 수 있으며, 부호화 과정과 마찬가지로 어느 시점에서나 복호화 과정을 끝낼 수 있다. 웨이브릿 변환 후 그림 5와 같은 순서로 부대역을 읽게 되며, parent가 먼저 읽혀짐으로써 중요한 부분이 먼저 처리된다는 것을 알 수 있다.

EZW는 부대역을 하나씩 읽어 나가면서 웨이브릿 계수의 크기를 임계값과 비교하여, 이 결과로 하위 부대역의 웨이브릿 계수를 예측하는데 이용하고 있다. 이러한 유사성은 POS, NEG, IZ, ZTR 심벌을 통하여 표현된다. 각각의 심벌이 나타내는 의미는 다음과 같다.

- ZTR(zerotree root)

자신과 children이 임계값에 대하여 모두 유효하지 않은 경우

- IZ(isolated zero)

자신의 계수값은 유효하지 않으나, children 중에 유효한 계수가 포함되어 있을 경우

- POS(positive significant)

계수값이 유효하고, 계수값 x가 $x > 0$인 경우

- NEG(negative significant)

계수값이 유효하고, 계수값 x가 $x < 0$인 경우

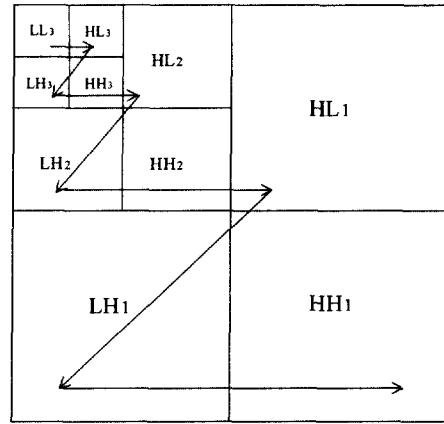



그림 5. 중요도에 따른 처리순서

그림 6은 웨이브렛 계수의 크기와 부호 정보만으로 이들의 심벌 형성을 결정하는 과정을 나타낸 것이다[5,7].

초기 임계값 T_0값은 웨이브릿 변환 계수를 x_i라 할 때, $|x_i| < 2T_0$로 설정한다. 이후의 임계값을 T_1, …, T_{N-1}이라 할 때, 임베디드 코딩의 특성을 유지하기 위하여 $T_i = T_{i-1}/2$로 임계값을 반으로 줄이면서 반복적으로 실행하게 된다. 양자화와 심벌화 과정이 하나의 단위를 이루며 반복되며 이러한 과정을 연속 근사 양자화(SAQ : Successive Adaptive Quantization)라 한다.

EZW에서 비트의 중요 순서를 결정하는 요인은 여러 가지가 있으나 일반적으로 precision, 크기(magnitude), 스케일(scale), 공간적 위치(spatial location)을 기준으로 중요도를 결정하게 된다. precision은 계

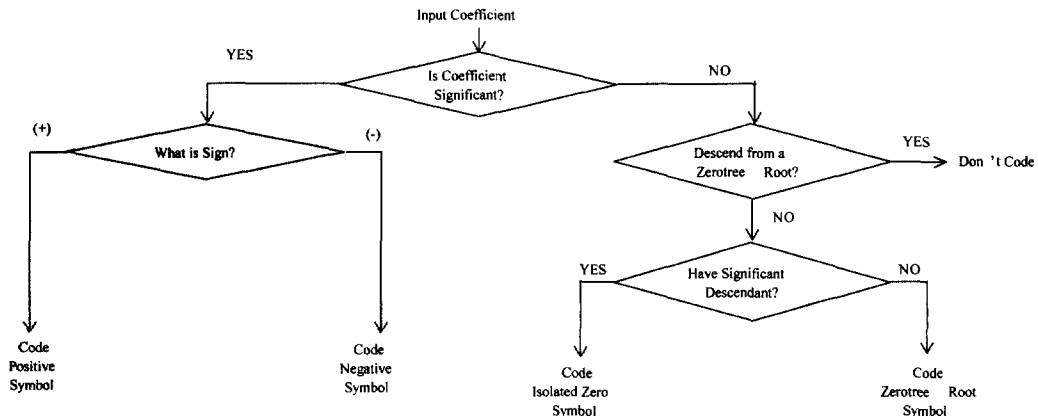



그림 6. 웨이브릿 계수의 심벌 형성 과정

수가 임계값을 반으로 줄이면서 어느 정도의 임계값까지 부호화 하는가를 나타내며, 계수 절대값 크기로 임계값과 비교하여 유효한 계수인지 결정한다. 스케일과 공간적 위치는 대역의 변환 단계와 방향성을 나타낸다.

Shapiro가 제안한 EZW 방법은 원하는 압축률에 도달하면 멈출 수 있는 임베디드 코딩의 특성을 가지며, 다중 비트율(multirate)을 만족시킨다는 장점을 가진다.

2.4.2 부대역 다중 비트율 부호화

D. Taubman과 A. Zakhor가 제안한 방법으로 EZW 기법을 개선한, 보다 효율적인 방법이다[8]. EZW 기법에서는 일정한 임계값으로 웨이브릿 계수 전체에 대하여 유효성 여부를 판단하였지만, D. Taubman과 A. Zakhor는 시각적으로 중요한 LL 대역과 부대역을 분리하여 그림 2의 대역별 중요도 순서에 따라 각 대역별로 precision을 할당한 후, 대역별로 N 개의 계층으로 나눈 다음 점진적인 양자화를 취하는 방법을 제시하였다. 이 기법은 정지 영상 외에 비디오와 같은 동영상에서 다중 해상도를 표현하는데 EZW보다 뛰어난 것으로 알려져 있다.

부대역에 따른 다중 계층 부호화 기법에서는 $L_1, \cdots, L_N$ 까지 N개의 계층(Layer)에서 N개의 양자화 값 $Q_1, \cdots, Q_N$ 가 각각의 계층에 적용된다. 또한 고주파 영역에서는 계층화된 PCM 부호화(layered PCM coding)이 사용되고 저주파 영역인 LL 대역에서는 계층화된 DPCM 부호화(layered DPCM coding)이 사용된다. 이후 제로트리 구조를 적용시킴으로써 효율을 높일 수 있다. 즉, 제로트리 이용시 양자화 값 Q_n 에 대하여 제로인지, 제로가 아닌지를 판단하면서 제로트리를 형성하게 된다. 이때 제로라면 경계를 제로가 아니라면 평활영역으로 간주한다.

본 논문에서는 EZW 보다 향상된 성능을 보이는 D. Taubman과 A. Zakhor의 방법에 따라 실험하기로 한다.

3. 웨이브릿과 제로트리 구조를 이용한 개선된 정지 영상 압축 기법

3.1 웨이브릿을 이용한 영상 압축의 문제점

좋은 압축률을 얻기 위해서는 영상의 중복성을 제거하는 무손실 압축 외에 시각적으로 중요하지 않은 정보를 버리는 손실 압축이 필요한데, 손실 압축시 압축률이 높아질수록 잃어버리는 정보가 많아지면서 영상의 왜곡이 생기게 된다.

웨이브릿을 이용한 영상 압축에서의 역효과는 공명 현상이라 할 수 있다. Gibbs effect 라고도 알려져 있으며 원래의 형태 에지(shape edges) 주위에 주기적인 의사 에지(pseudo edges)가 나타나면서 에지 및 경계 부분이 흐려지는 왜곡 현상이다. 그림 7은 공명 현상을 단적으로 보여주는 영상의 예이다.

공명 현상의 원인은 손실 압축 과정시 시각적으로 중요한 영상의 경계나 에지 영역이 잘 반영되지 않기 때문이다. 상대적으로 고주파 성분인 에지 및 경계 부분은 웨이브릿 변환 과정에서 낮은 단계의 부대역에 나타날 가능성이 많으며, 압축 과정시 생략되는 부분이 많게 된다. 압축률이 높아질수록 고주파 성분의 손실이 많아지고, 따라서 에지 및 경계 성분이 제대로 나타나지 못하여 영상의 왜곡이 발생하는 것이다. 이러한 에지 및 경계 성분의 손실을 막기 위한 효율적인 방법이 요구되며, 원 영상과의 차이를 줄이면서 압축의 효율성을 높이는 방법이 필요하다.

제로트리를 이용한 압축 과정에서는 연속 근사 양자화 과정시 저주파 대역 부분의 웨이블릿 계수의 정보를 잃어버리게 되므로 양자화 과정시 계수를 보다 효율적으로 표현하는 방법이 필요하다. 본 논문에서는 전처리 과정으로 다음과 같은 방법을 제안함으로써 공명 현상과 같은 역효과를 방지하고 원 영상과 복원 영상 간의 차이를 줄이고자 한다.

3.2 전처리 과정을 통한 개선된 웨이브릿 기반 압축 기법

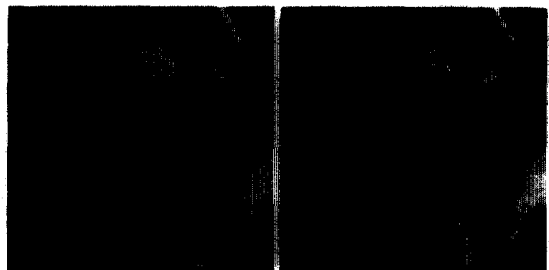
웨이브릿 변환과 제로트리에 기반한 영상 압축기

(a) 원 영상　　(b) 공명 현상이 일어난 영상

그림 7. 공명 현상을 보여주는 영상의 예

법에서, 압축 과정시 손상된 화질을 개선하는 방법으로 양자화 이전의 임계값 조정과 대역별 특징에 따른 개선된 스캔 기법을 제안한다. 본 논문에서 제안한 기법의 간략한 도식도는 그림 8과 같다.

웨이브릿 변환 이후 제로트리의 형성 과정에서 유효한 계수인지 판정하는 임계값을 적절히 낮추어 유효 계수의 수를 늘리고 각 대역의 특성에 맞는 스캔 방법을 적용한다. 대역별 임계값의 조정은 max_precision에 기반한 실험에 의해 채택 적용하였고, 대역의 최대 크기값에서 임계값의 조정에 의하여 손실되는 정보는 복원 과정에서 보상하는 방법을 채택하였다. 스캔 방향은 기존의 방법이 부대역의 특성을 무시한 채 단일한 방법으로 처리하였던 것에 반하여, 웨이브릿 변환후 각 대역의 방향성, 즉 수직, 수평, 대각선의 특성을 이용하였다. 본 논문에서 제안한 개선된 기법의 성능은 4장의 실험 결과 및 기존 기법과의 비교를 통하여 확인할 수 있다.

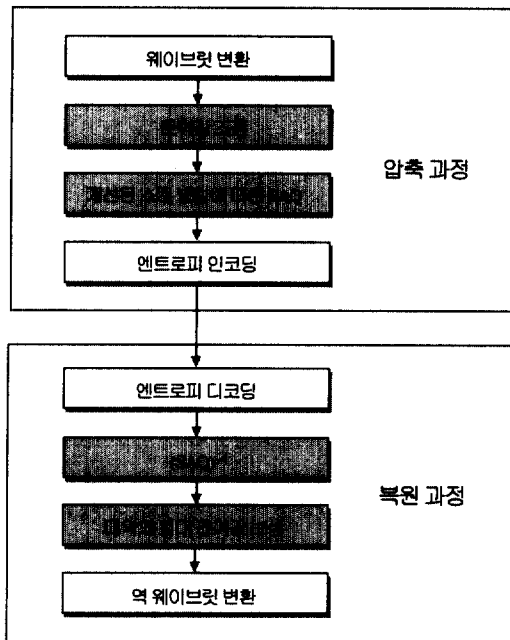



그림 8. 제안한 기법의 처리 단계

3.2.1 임계값 조정에 의한 개선 기법

D. Taubman과 A. Zakhor가 제안한 기법에 따르면 다중 해상도와 다중 비트율의 특징을 만족하기 위하여, 각 대역별로 제로트리를 형성하게 된다. 각 대역별로 중요성에 따라 임계값의 감소에 따른 반복 횟수인 precision이 할당되며 제한된 precision 내에서 이루어진다. 전체 웨이브릿 계수에서 가장 큰 크기값을 기준으로 정해진 임계값으로 스캔시 모든 대역을 한번씩 거치는 EZW와는 달리, 각 대역별로 가장 큰 크기값을 기준으로 유효한 기준인지를 판정하는 임계값을 설정한다. 또한 대역별로 스캔을 수행하며 제로트리를 형성하게 된다. 임계값의 역할은 이 값을 기준으로 계수가 유효한지 유효하지 않은지 판단하고, 유효하지 않다고 판정된 계수는 제로트리에 포함되지 않는다. 따라서 D. Taubman과 A. Zakhor의 기법에서의 대역별로 설정되는 임계값을 제안한 기법을 통하여 적절히 낮춰줌으로써, 유효 계수의 숫자를 증가시킬 수 있다.

본 논문에서는 D. Taubman과 A. Zakhor의 기법에서 임계값 계산시 다음과 같은 계산을 덧붙임으로써 화질을 개선하고자 한다. 처음 D. Taubman과 A. Zakhor의 기법에서는 웨이브렛 계수를 x_i 초기 임계값을 T_0라 할 때, $|x_i| < 2T_0$와 같이 설정된다. 즉, 가장 큰 크기값의 $\frac{1}{2}$ 로 설정됨을 알 수 있다. 임계값을 조정된 임계값을 T_N라 하고, 기존의 D. Taubman과 A. Zakhor 기법에서 나온 임계값을 T라 할 때, T_N는 대역별로 할당할 수 있는 최대의 precision, 즉 max_precision을 2의 자승으로 하여 그 값에 임계값 T을 곱한 후 원래의 임계값에서 뺀 값으로 설정한다. 제안한 기법은 임계값 설정시 조정하는 한번의 연산만을 수행하므로, 계산량에는 영향을 미치지 않는다. 식 (1)은 이러한 임계값의 조정을 나타낸 것이다.

$$T_N = (1 - (\frac{1}{2})^{max_precision})T \quad (1)$$

식 (1) 적용시 대역의 최대 크기값은 T_N은 T보다 작은 크기값을 가진다. T_N값은 대역의 최대 크기값을 반영하는 T에 비하여 최대 크기값을 표현하는데 적절하지 못하다. 따라서 잃어버린 정보를 복원 과정에서 역변환을 통하여 보상해 주어야한다. 앞에 곱해 주었던 $(1 - (\frac{1}{2})^{max_precision})$ 만큼 나눠줌으로써 보상하게 된다. 식 (2)는 이러한 보상 과정을 식으로 나타낸 것이다.

$$MAX_{subband\#} = MAX_{subband\#} / (1 - (\frac{1}{2})^{max_precision}) \quad (2)$$

3.2.2 개선된 스캔 방법

영상을 웨이브릿 변환하면, 그림 3과 같이 수직,

수평, 대각선 방향의 특징을 나타내는 부대역으로 분해된다. 기존의 방법은 이 특징을 무시한 채 부대역을 수평의 단일한 방향 순으로 처리한다. 김민구, 김승종, 정제창은 영상 전체의 제로트리 형성 후 엔트로피 부호화시 스캔 방향을 다르게 하는 방법을 제시하였다[9]. 본 논문에서는 이를 응용하여 부대역으로 나눈 후, 제로트리 형성시 기존의 기법인 단일한 수평 방향이 아닌 부대역의 방향성에 따라 제로트리를 형성함으로써 중요도에 스캔을 수행하고 스캔의 방향성을 부여함으로서 성능을 높일 수 있다. [9]의 논문과 다른 점은, 대각선 스캔 방향시 방향성을 [9]의 논문에서는 방향성이 위에서 아래, 혹은 아래에서 위로만 되어있으나, 본 논문에서는 아래에서 위로, 위에서 아래로의 스캔을 교대로 수행한다. 방향성을 그림 5와 같은 LL→HL→LH→HH의 지그재그 방식으로 함으로써 [9]의 방식보다는 나은 결과를 얻을 수 있었다.

수직 성분을 나타내는 LH 대역의 경우 그림 9 (a)와 같이 수직 방향으로 스캔을, 수평 성분을 나타내는 HL 대역은 그림 9 (b)와 같이 수평 방향 스캔을 수행한다. 대각선 방향의 성분을 나타내는 HH 대역의 경우 그림 9 (c)와 같은 지그재그 방향으로 스캔한다면, 대역별 특성에 따라 계수를 처리하게 되므로 성능을 높일 수 있다.

4. 실험 및 결과분석

4.1 실험 환경

본 논문의 실험은 Solaris 2.5.1 운영체제를 가진 UltraSparc I workstation에서 C 와 C++ 언어를 이용하여 프로그래밍 하였으며, GNU C++ Complier를 이용하였다. 실험 영상으로는 디지털 영상 처리의 표준인 512×512 크기의 lena와 barbara를 이용하였다.

4.2 실험 분석 및 결과

본 논문의 실험에서 웨이브릿 변환을 위한 필터로는 Daubechies 9/7 탭 필터를 사용하였고, 5단계 웨이브릿 변환을 수행하였다. precision의 최대값은 10으로 하였으며, 압축률은 2배수 단위로 4:1에서 128:1까지 실험하였다. 실험 결과의 비교는 제안한 기법과 D. Taubman과 A. Zakhor의 기법, 그리고 현재 정지영상 압축 표준인 JPEG을 서로 비교하였다.

실험 결과의 평가 기준으로는 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio) 값으로 비교하였다. PSNR 값은 원영상과 처리 영상간의 차이에 대한 수학적 척도로 많이 사용된다. PSNR은 화질 손상에 대하여 절대적인 기준은 아니지만, 상대적인 화질 개선에 대한 비교로 많이 사용되며 식은 다음과 같다.

$$PSNR = 10.0\log\frac{255^2}{\frac{1}{p}\sum_{i=0}^{M-1}\sum_{j=0}^{M-1}(f(i,j)-g(i,j))^2} \quad (9)$$

$f(i,j)$는 원 영상의 휘도 성분을, $g(i,j)$는 처리 영상의 휘도 성분을 나타내며, p는 영상의 총 픽셀 수를 나타낸다. 영상을 픽셀 단위로 비교하여 원 영상과의 차이가 적을수록 높은 값을 나타낸다.

실험 결과 영상 및 압축률에 따라 다소 차이는 보였지만, 전반적으로 화질이 개선되었음을 알 수 있다. lena 영상의 경우 압축률이 64 : 1인 경우에 가장 좋은 결과를 나타내었으며, barbara 영상의 경우 16 : 1의 압축률에서 가장 좋은 성능을 보였다.

그림 10과 그림 11은 lena와 barbara의 원 영상이며 디지털 영상 처리에서 표준화되어있다. 그림 12는 기존의 JPEG 방법에 따라 64 : 1로 압축했을 때의 lena 영상이며, 그림 13은 제안한 방법에 대한 압축

(a) 수직 방향 스캔

(b) 수평 방향 스캔

(c) 대각선 방향 스캔

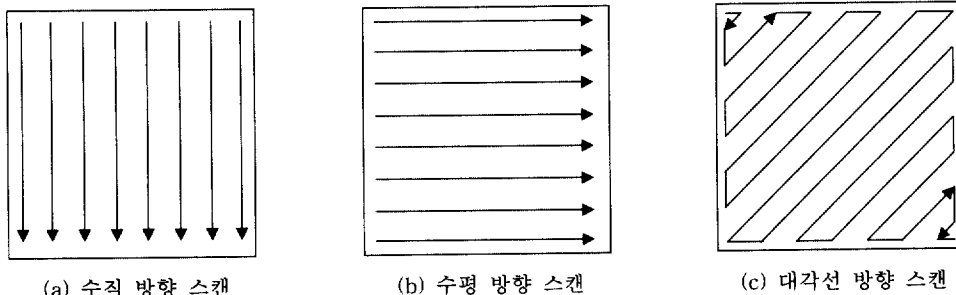



그림 9. 부대역의 특성에 따른 개선된 스캔방향

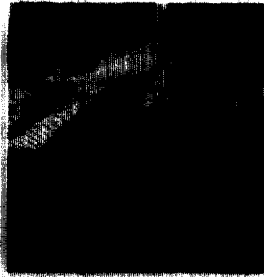



그림 10. lena 원 영상　그림 11. barbara 원 영상

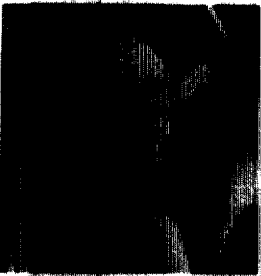



그림 12. 64:1로 압축한 lena JPEG 영상
PSNR = 30.2271

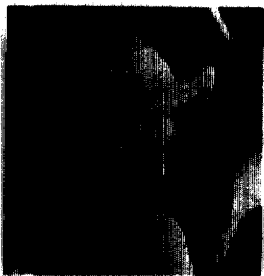



그림 13. 64:1로 제안한 기법에 따른 압축 영상
PSNR = 30.4183

영상이며 그림 14와 그림 15는 각각의 확대된 부분을 나타낸다. 여기서 모자의 깃털과 머리카락, 눈 부분에서의 영상이 개선되었음을 알 수 있다. 그림 16은 기존의 JPEG 방법으로 16:1로 압축했을 때의 barbara 영상이고 그림 17은 제안한 방법에 따른 압축 영상이며, 그림 18과 그림 19는 그림 16과 그림 17의 부분을 확대한 것이다. 옷의 주름 부분에서 경계 및 무늬의 흐려짐이 감소하였음을 알 수 있다.

표 1과 그림 20은 lena 영상에 대한 PSNR 비교표와 간략한 그래프이다. D. Taubman과 A. Zakhor의 기법 및 JPEG 과 비교하였을 때 제안한 기법이 보다 좋은 PSNR 수치를 보여줌을 알 수 있다. JPEG에서는 압축률이 64:1 이상일 경우 영상이 판별하기 힘들

그림 14. 그림 12의 부분 확대　그림 15. 그림 13의 부분 확대

그림 16. 16:1로 압축한 barbara JPEG 영상
PSNR = 29.5410

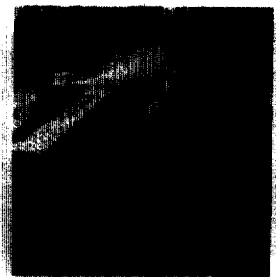



그림 17. 16:1로 제안한 기법에 따른 압축 영상
PSNR = 30.1435

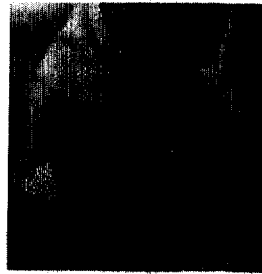



그림 18. 그림 16의 부분 확대

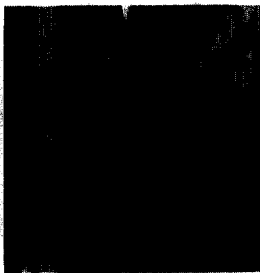



그림 19. 그림 17의 부분 확대

표 1. lena 영상에 대한 PSNR 비교표

압축률	JPEG	Taubman	제안한 기법
4:1	41.6006	43.7063	43.8212
8:1	37.8071	39.4159	39.4593
16:1	34.6270	36.1762	36.2163
32:1	30.4012	33.1726	33.2009
64:1	24.2569	30.2271	30.4183
128:1	사용안함	27.7209	27.7789

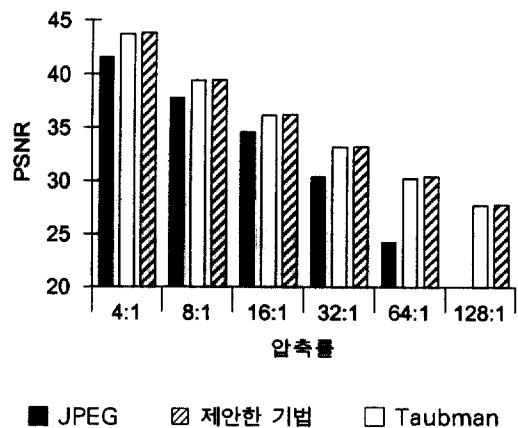



그림 20. 제안한 기법을 적용한 lena 영상에 대한 PSNR 비교 그래프

정도로 왜곡이 심하므로 128 : 1 은 PSNR 값을 생략하였다.

표 2와 그림 21은 barbara 영상에 대한 PSNR 비교표와 간략한 그래프이다. lena 영상과 마찬가지로 제안한 기법이 보다 좋은 PSNR 수치를 보여줌을 알 수 있다.

표 2. barbara 영상에 대한 PSNR 비교표

압축률	JPEG	Taubman	제안한 기법
4:1	39.3276	40.5994	40.6213
8:1	33.0399	34.5557	34.7075
16:1	27.8176	29.5410	30.1435
32:1	24.3544	26.6454	26.7376
64:1	22.1040	24.3108	24.3818
128:1	사용안함	23.1141	23.1143

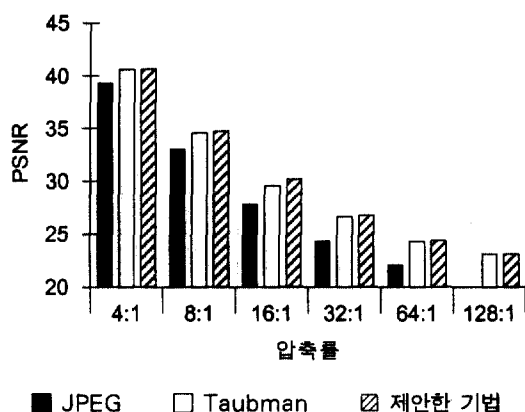



그림 21. 제안한 기법을 적용한 barbara 영상에 대한 PSNR 비교그래프

5. 결 론

원 영상과의 차이를 줄이면서 좋은 압축률을 얻고자 하는 것이 영상 압축의 목표이다. 현재 정지 영상 압축 표준은 JPEG 이나, 압축률이 높아질수록 블록간의 불연속을 나타내는 블록킹 현상이 발생하게 된다. 현재 관심을 끌고 있는 웨이브릿 기반 압축 기법은, 블록킹 현상을 발생하지 않으며 JPEG 보다 압축 효율이 높고 인간 시각 시스템을 잘 반영한다는 장점을 가지고 있다.

본 논문에서는 웨이브릿과 제로트리에 기반한 정지 영상 압축 기법에서 압축률에 따른 시각적 손실을 줄이는 방법에 대하여 연구하였다. 전처리 과정으로는 제로트리 형성시 임계값을 낮추면서 개선된 스캔 방향을 제시하였고, 복원 과정시 최대 크기값을 보상해 주는 방법을 제안하였다.

본 논문에서는 웨이브릿 기반 압축 기법에서의 역효과인 공명 현상을 줄여 원 영상과의 차이를 줄이는 것에 목표를 두었다. 제안한 방법으로 실험한 결과, 새롭게 지정된 JPEG2000에서 사용되고 있는 EBCOT 알고리즘 보다는 PSNR 면에서 약간 떨어지지만 [10], 현재 많이 쓰이고 있는 기존의 정지 영상 압축 표준인 JPEG과 비교하였을 때 전반적으로 화질이 개선되었으며 원 영상에 보다 근접하였음을 알 수 있었다. 제안한 기법은 기존의 방법에 간단한 전처리 과정을 추가한 것으로 쉽게 적용할 수 있으며, 따라서 웨이브릿을 기반으로 한 영상 압축에 응용될 수 있을 것으로 보인다.

웨이브릿 기반 영상 압축 기법은 낮은 비트율에서의 고화질 영상 구현을 목적으로 하는 것으로, 또한 제안한 기법을 정지 영상 외에 웨이브릿 변환에 기반한 동영상 압축 기법에 맞게 응용한다면, 동영상의 화질 개선 또한 기대할 수 있다.

참 고 문 헌

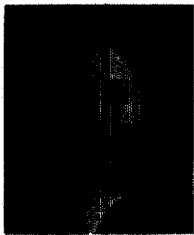
[1] Amara Graps, "An Introduction to Wavelets," *IEEE Computational Sciences and Engineering*, Vol. 2, No. 2, pp. 50-61, Summer 1995.

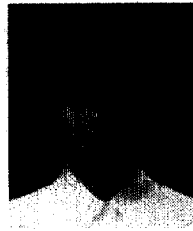
[2] Subhasis Saha, "Image Compression - from DCT to Wavelet : A Review", *ACMCrossriads Student Magazine*, January. 2001.

[3] 신현출, 송우진, "시각적으로 개선된 제로트리 구조를 이용한 웨이브릿 변환 영상 부호화," 제 10회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵 발표 논문집, pp. 21-24, 1998.

[4] J. Ju, V. R. Algazi and R. R. Estes, "A Comparative Study of Wavelet Image Coders," *Optical Engineering*, Vol. 35, No. 9, pp. 2605-2619, Sept. 1996

[5] 이해성, 지연숙, 박국남, 유지상, 변혜란, 구자용, "웨이블릿 변환과 영상의 동질성을 이용한 영상압축," 정보과학회 봄 학술발표 논문집, Vol. 25, No. 1, pp. 604-606, 1998.

[6] M. Barlaud, P. Mathieu and I. Daubechies, "Image Coding Using Wavelet Transform," *IEEE Trans. Image Processing*, Vol. 1, No. 2, pp. 205-220, April. 1992.
[7] Jerome M. Shapiro, "Embedded Image Coding Using Zerotrees of Wavelet Coefficients," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 41, No. 12, pp. 3445-3461, Dec. 1993.
[8] D. Taubman and A. Zakhor, "Multirate 3D Subband Coding of Video," *IEEE Trans. Image Processing*, Vol. 3, No. 5, pp. 572-588, Sept. 1994.
[9] 김민구, 김승종, 정제창, "개선된 웨이블릿 기반 MPEG-4 정지 영상 압축 기법," 제 10회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵 발표 논문집, pp. 25-30, 1998.
[10] Taubman, D, "High Performance Scalable Image Compression with EBCOT", *IEEE Trans. Image Processing,* Mar. 1999.

최 정 구

1997년 이화여자대학교 전자계산학과 (이학사)
1999년 이화여자대학교 대학원 컴퓨터학과 (공학석사)
1998년 11월~1999년 8월 ㈜다우기술 특수사업부 근무
1999년 8월~현재 LG전자/정보통신 액세스망 연구소 다중통신실 주임연구원
관심분야 : 영상처리, 실시간 OS
e-mail : hingis@lge.com

김 도 년

1989년 이화여자대학교 컴퓨터학과 (이학사)
1991년 이화여자대학교 대학원 컴퓨터학과 (이학석사)
2001년 이화여자대학교 과학기술대학원 컴퓨터학과 (공학박사)
1992년 연세대학교 의과대학 의용공학과 조교
2001년~현재 LG 전자기술원 선임연구원
관심분야 : 컴퓨터비젼, MPEG-21
e-mail : dnkim@lge.com

조 동 섭

1979년 서울대학교 전기공학과 (공학사)
1981년 서울대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
1986년 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과 (공학박사)
1985년~현재 이화여자대학교 컴퓨터학과 교수
1993년~현재 대검찰청 과학수사자문위원회 자문위원
1996년 University of California, Irvine Visiting Scholar
관심분야 : 컴퓨터구조 및 인터넷공학, 컴퓨터비젼, 컴퓨터그래픽스, 가상교육
e-mail : dscho@mm.ewha.ac.kr